



# **SZEMESTERMÉNYEK NEDVESSÉGTARTALMÁNAK ÉS DIELEKTROMOS JELLEMZŐINEK ÖSSZEFÜGGÉSE**

**Doktori értekezés tézisei**

**Készítette:**

**Gillay Bíborka Zsuzsanna**

**Konzulensek:**

**Dr. David B. Funk**

**Dr. Felföldi József**

**Budapesti Corvinus Egyetem  
Élelmiszertudományi Kar  
Fizika-Automatika Tanszék**

**Budapest  
2013**

**A doktori iskola**

**megnevezése:** Élelmiszertudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Élelmiszertudományok

**vezetője:** Dr. Fodor Péter, DSc  
egyetemi tanár  
Budapesti Corvinus Egyetem

**Témavezetők:** Dr. David B. Funk, PhD, DSc (hc)  
Deputy Director, Chief Scientist  
USDA- GIPSA Technology & Science Division

Dr. Felföldi József, DSc  
egyetemi tanár  
Budapesti Corvinus Egyetem  
Fizika-Automatika Tanszék

A jelölt a Budapesti Corvinus Egyetem Doktori Szabályzatában előírt valamennyi feltételnek eleget tett, az értekezés műhelyvitájában elhangzott észrevételeket és javaslatokat az értekezés átdolgozásakor figyelembe vette, azért az értekezés nyilvános vitára bocsátható.

The applicant met the requirement of the PhD regulations of the Corvinus University of Budapest and the thesis is accepted for the defence process.

.....  
Az iskola vezető jóváhagyása



.....  
A témavezetők jóváhagyása  
(Signature of Supervisors)

## **BEVEZETÉS**

A nedvességtartalom az egyik legfontosabb minőségi jellemzője a szemesterményeknek, és bár a nedvességmérőknek közel 100 éves múltja van, még mindig számos megoldatlan kérdés nehezíti a pontos nedvességmérők megalkotását. A nedvességmérők nem közvetlenül a víztartalmat mérik, hanem egy víztartalomtól függő jellemzőt. A mérési pontosság igen sok tényező függvénye. Az olyan mérési eljárások, amelyeket e zavaró tényezők alig befolyásolnak viszonylagos bonyolultságuk, magas költségeik miatt az iparban nem terjedtek el. A kapacitív elven működő berendezések pontosak és mérés technikájuk egyszerűbb, mint a nagyobb frekvenciákon működő berendezéseknek. A nedvességmérő gyártók gazdaságossági törekvései miatt még mindig van érdeklődés a gabonák 100 MHz alatti tulajdonságai iránt. Ezért kutatásom célja, az online mérésekben, szárítóknak, kombájnon előforduló zavaró tényezők dielektromos görbékre gyakorolt hatásának meghatározása volt 100 MHz alatti frekvencia tartományban.

## **CÉLKITŰZÉSEK**

Munkám két fő témakörre összpontosult. Az első témaköröm a betöltési módok és a nyomás hatásának vizsgálata volt. A másodikban a gabona szemek között vagy a gabona szemeken belüli inhomogén nedvességeloszlás hatását vizsgáltam meg. Doktori munkám célja az alábbi kérdések megválaszolása volt:

### **A BETÖLTÉSI MÓDOK ÉS A NYOMÁS HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA**

1. A betöltési módok és a nyomás hatással vannak-e:
  - a. a gabonák dielektromos jellemzőire,
  - b. az LLL sűrűségkorrekció hatékonyságára,
  - c. a gabonák nedvességtartalom meghatározására?
2. A mérőcella kialakítása befolyásolja-e az LLL sűrűségkorrekció hatékonyságát?
3. Az egyes betöltési módok és a nyomás eltérően hatnak-e a gabona dielektromos jellemzőire?

### **AZ INHOMOGEN NEDVESSÉGELOSZLÁS HATÁSA**

#### **A szemeken belüli egyenlőtlen nedvességeloszlás vizsgálata**

1. A szemeken belüli inhomogén nedvességeloszlás okoz-e szignifikáns különbséget a kukorica dielektromos jellemzőiben és ebből következően a számított nedvességtartalom értékekben?

2. Mekkora a számított nedvességtartalom különbség a kiegyenlített és az inhomogén nedvességeloszlású minta között, különböző nedvességtartalomnál és mérőfrekvencián?
3. Lehetséges-e dielektromos módszerrel megkülönböztetni a kiegyenlített és az inhomogén nedvességeloszlású szemeket tartalmazó gabonamintákat?

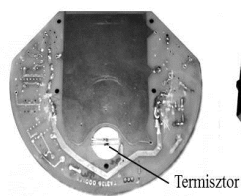
### Száraz-nedves gabonakeverékek vizsgálata

4. A szemek közötti egyenlőtlen nedvességeloszlás okoz-e szignifikáns különbséget a dielektromos jellemzőkben és ebből következően a számított nedvességtartalom értékekben? A jelenségre van-e befolyása a mérőfrekvencia megválasztásának?
5. Mekkora a száraz-nedves kukoricakeverékek kiegyenlítés előtti és utáni számított nedvességtartalom különbsége különböző nedvességtartalmon és keverési arányok mellett?
6. Lehetséges-e dielektromos módszerrel megkülönböztetni a száraz-nedves gabonaszemek keverékéből álló mintát (inhomogén nedvességeloszlás a magok között) a már kiegyenlített, egyenletes nedvességeloszlású mintától?

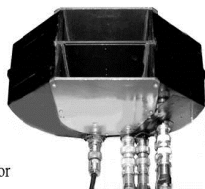
## ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

### ALKALMAZOTT TESZTCELLÁK

A vizsgálataim során három tesztcellát, két síkkondenzátor típusú mérőcellát és egy hengerkondenzátort (két eltérő kialakítással: középső elektród toldással vagy nélkül) alkalmaztam (1. ábra).



Módosított DICKEY-john GAC II tesztcella  
= GAC tesztcella.



Az USA-ban 2011-ben bevezetett  
nedvességmérő technológia mestercellája  
= UGMA tesztcella



Eredeti és a módosított  
hengerkondenzátor tesztcella

1. ábra Alkalmazott tesztcellák

A tesztcellák modelljéből (amely a fizikai méretek és a desztillált víz permittivitásának mérésén alapul) kiszámoltam a gabonaminták permittivitását. A relatív dielektromos állandóból hőmérsékletkorrekció alkalmazása után, sűrűségkorrekció nélkül és Landau-Lifshitz, Looyenga sűrűségkorrekcióval (továbbiakban LLL sűrűségkorrekció) meghatároztam a minta számított nedvességtartalmát.

## A BETÖLTÉSI MÓDOK VIZSGÁLATA

A betöltéseket minden tesztcellánál azonos módon végeztem. A „lassú” betöltés során a gabonamintákat lassan, mintegy 30 másodperc alatt töltöttem be a tesztcellába, annak folyamatos rázása mellett. “Gyors” betöltéskor a minta betöltéséhez a tesztcellák fölé helyezhető betöltő szerkezetet alkalmaztam, mellyel a minta pillanatszerűen került a tesztcellába.

## A NYOMÁS HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA

A nyomás által okozott halmaztömörödöttséget kétféle módon értem el.

Az egyik esetben a GAC, a hengerkondenzátor és a módosított hengerkondenzátor tesztcellákban lévő gabonahalmazt egy SMS TA-XT2 precíziós penetrométerrel nyomtam meg (2. ábra). A dielektromos méréseket a kívánt erő elérésekor mértem, állandó erő mellett, rögzítve az adott erőhöz tartozó deformációt, a sűrűségváltozások követésére.



2. ábra SMS TA-XT2 precíziós penetrométer a hengerkondenzátor tesztcellával

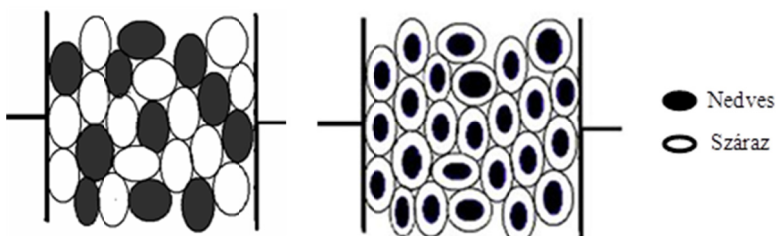


3. ábra Terhelés vizsgálata UGMA tesztcellával

A másik esetben az UGMA tesztcellával a gabona halmaz tetejére poliuretánból készült, megfelelően kialakított nyomófejet tettem, amire 5 másodpercra 1, 2 és 3 kg tömegű mérlegsúlyt helyeztem (3. ábra). A dielektromos mérést a súlyok levétele után végeztem el.

## INHOMOGÉN NEDVESSÉGELOSZLÁS

Az egyenlőtlen nedvességek eloszlás jelentkezhet az egyes magokon belül (szárítás után), vagy száraz-nedves gabonaszemek keverékében, a gabonaszemek között (4. ábra).

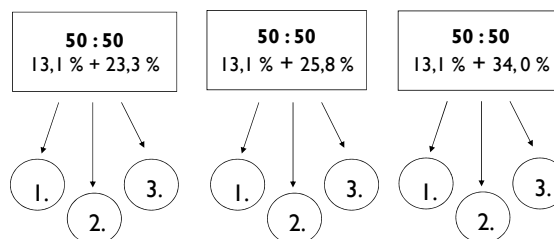


4. ábra Inhomogén nedvességek eloszlás a magok között (bal) és magon belül (jobb) kapacitív mérőcellában

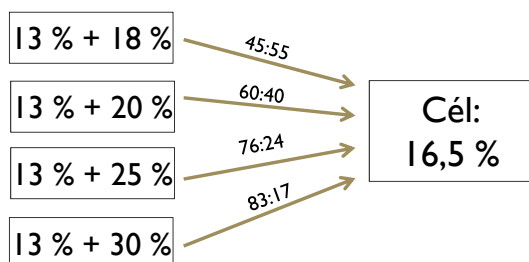
## KEVERÉKEK

A keverékek vizsgálatát 3 oldalról közelítettem meg:

Elsőként, ugyanazon száraz kukorica mintából és 3 különböző nedvességtartalmú, nedves kukoricából készítettem 50:50 tömegarányú keverékeket, 3 adagot minden nedvességtartalmon (5. ábra).



5. ábra Az 50:50 tömegarányú kukorica keverékek keverési



6. ábra Adott nedvességtartalomra beállított keverékek keverési sémája

A második kísérletsorozatban 16,5 %-os nedvességre beállított keverékek létrehozatala volt a célom (6. ábra).

Végezetül 90:10, 75:25 és 50:50 tömegarányok hatását vizsgáltam meg 13 %-os száraz és 18 %, 20 %, 25 % és 30 %-os nedves kukorica keverékeiben.

## A GABONASZEMEKEN BELÜLI EGYENLŐTLEN NEDVESSÉGELOSZLÁS

A kukorica mintákat Venticell 110 típusú laboratóriumi szárítószekrényben szárítottam 70°C hőmérsékleten (7. ábra). A szárított minták kiindulási és végső nedvességtartalmát az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat Szárítószekrényes nedvességtartalom értékek szárítás előtt és után

| Nedvességtartalom<br>szárítás előtt, % | Szárítási<br>idő, h | Nedvességtartalom<br>szárítás után, % |
|--|---------------------|---------------------------------------|
| 22,9                                   | 1                   | 18,5                                  |
| 22,9                                   | 2                   | 16,5                                  |
| 25,4                                   | 1                   | 20,3                                  |
| 25,4                                   | 2,3                 | 15,6                                  |
| 25,4                                   | 3                   | 14,9                                  |
| 26,2*                                  | 2                   | 14,6                                  |
| 26,2*                                  | 3                   | 12,1                                  |
| 26,2*                                  | 4                   | 11,2                                  |
| 26,2*                                  | 5                   | 10,2                                  |
| 34,0                                   | 2                   | 23,5                                  |
| 34,0                                   | 3                   | 21,0                                  |

\* A nedvesség mérése a Burrows 700 nedvességmérővel történt



7. ábra A minták szárítása

Az inhomogén nedvességeloszlás minden vizsgálatánál a minták dielektromos jellemzőit az összekeverés vagy szárítás után közvetlenül és 24 óra múlva, kiegyenlítődé után mértem meg. A méréseket GAC tesztcellával végeztem.

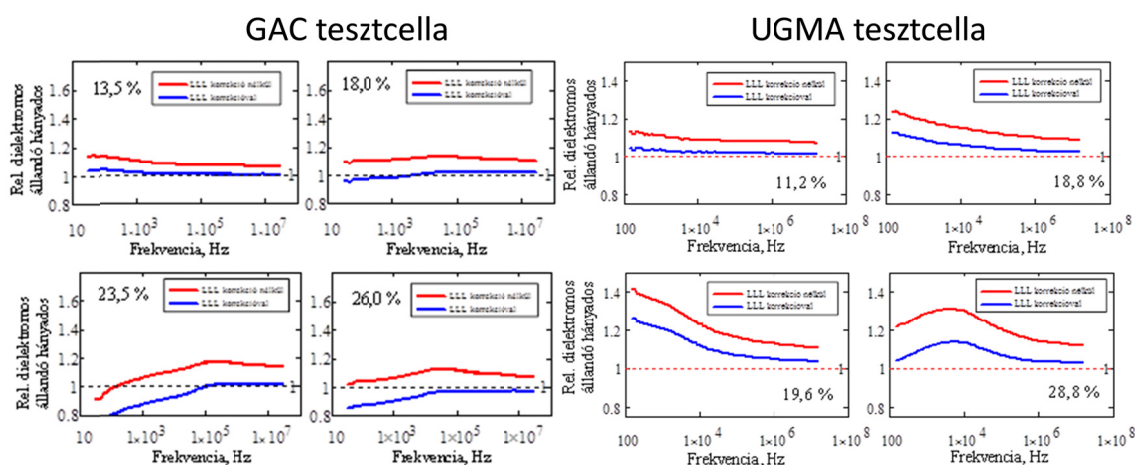
## EREDMÉNYEK

### AZ LLL SŰRŰSÉGKORREKCIÓ MŰKÖDÉSE 100 MHZ ALATT

Az LLL sűrűségkorrekció hatékonyságát két eltérő, a gabonaminta tömörödöttségét okozó hatás ( a rázás és a terményoszlop tetején alkalmazott nyomás) esetén vizsgáltam meg. A különböző betöltési módok vizsgálatánál a relatív dielektromos állandó hányadost a nagyobb tömörödöttséget okozó lassú betöltés és ugyanazon minta gyors betöltéssel mért relatív dielektromos állandójának a hányadosából képeztem. A nyomás hatásának vizsgálatakor a relatív dielektromos állandó hányados az adott nyomáson mért és ugyanazon minta gyors betöltéssel mért relatív dielektromos állandójának a hányadosa. Az eredmények értékelése mindkét esetben ugyanaz. Ha az LLL sűrűségkorrekció jól működött az adott frekvencián, akkor a hányados 1, ami a különböző halmaztömörödöttségekből eredő hibák teljes kiküszöbölését jelenti.

### AZ LLL SŰRŰSÉGKORREKCIÓ ÉS A BETÖLTÉSEK VIZSGÁLATA

Megállapítottam, hogy az LLL sűrűségkorrekció hatékonysága függ a tesztcella kialakítástól és a frekvenciától 28 MHz frekvencia alatt. E különbségek oka a dielektromos görbéken megjelenő elektród polarizáció és a Maxwell-Wagner relaxáció. A 8. ábra a GAC és az UGMA tesztcellával mért különböző nedvességtartalmú relatív dielektromos állandó hányadosát mutatja meg a frekvencia függvényében.

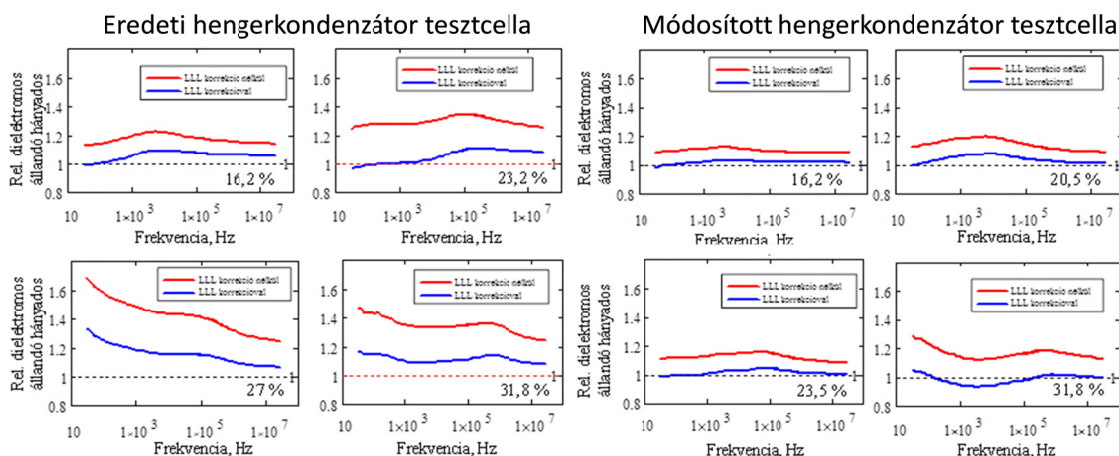


8. ábra A különböző nedvességtartalmú kukoricák relatív dielektromos állandó hányadosai ( $\epsilon'_{\text{lassú}}/\epsilon'_{\text{gyors}}$ ) a frekvencia függvényében, LLL sűrűségkorrekció előtt és után, a GAC és az UGMA tesztcellákkal mérve

Megállapítottam, hogy ha a tesztcella belső elektródja alacsonyabb, mint a külső (ezáltal a tesztcella elektromosan aktív részében és felett különböző sűrűségkülönbség alakul ki) az LLL sűrűségkorrekció



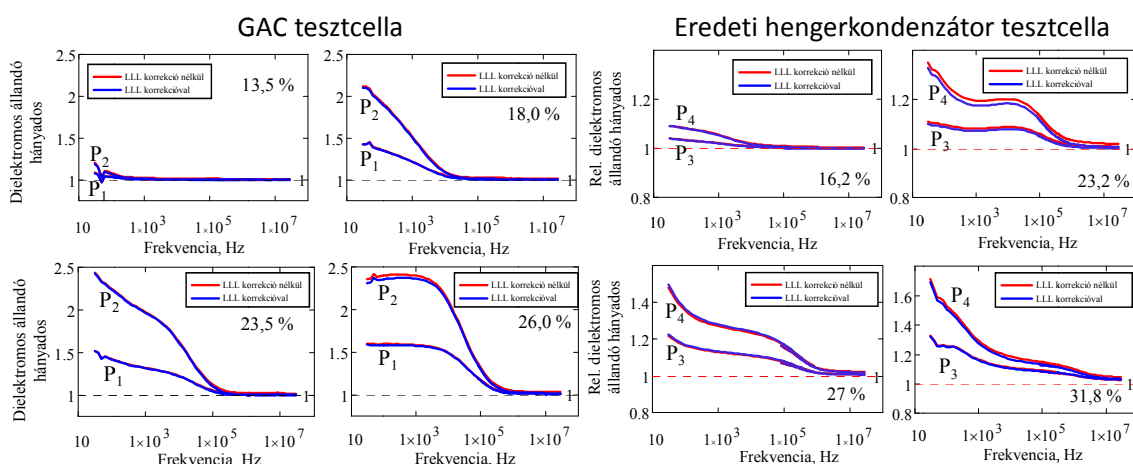
eredményessége jelentősen romlik. A 9. ábrán látható az eredeti hengerkondenzátor tesztcella és a módosított változat (a középső elektród meghosszabbításával) relatív dielektromos hányados görbéi.



9. ábra A különböző nedvességtartalmú kukorica minták relatív dielektromos állandó hányadosai ( $\epsilon'_{\text{lassú}}/\epsilon'_{\text{gyors}}$ ) a frekvencia függvényében, LLL sűrűségkorrekció előtt és után, a hengerkondenzátor és a módosított hengerkondenzátor tesztcellákkal mérve

Megállapítottam, hogy az LLL sűrűségkorrekció a 100 kHz és 28 MHz közötti frekvencia tartományban eredményes a sűrűségkülönbségek korrigálására 11,2 %-31 % közötti nedvességtartalmú kukorica mintákon tesztcellától függetlenül, ha a tesztcellák belső elektródjának magassága megegyezik a külsőével.

## AZ LLL SŰRŰSÉGKORREKCIÓ ÉS A NYOMÁS VIZSGÁLATA



10. ábra A 13,5 %-26,0 % nedvességtartalmú kukorica minták relatív dielektromos állandó hányadosai  $\epsilon'_p/\epsilon'_{\text{gyors}}$ , a frekvencia függvényében, LLL sűrűségkorrekció előtt és után, a GAC és hengerkondenzátor tesztcellával mérve; Alkalmazott terhelő erő mindkét tesztcellánál 10 N és 20 N, amely a különböző nyomófelületek miatt P1=2,8 kPa, P2=5,6 kPa és P3=1,5 kPa, P4=3 kPa nyomásértékeket jelent.



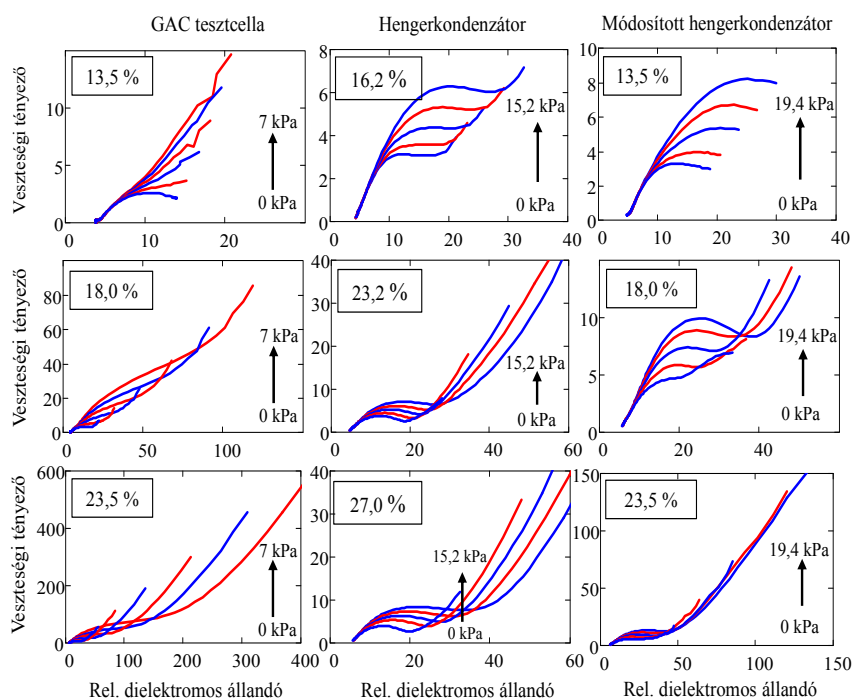
Megállapítottam, hogy az LLL sűrűségkorrekció alkalmazása nem okoz jelentős változást a hányadosok értékeiben. A 13,5%-nál nedvesebb minták relatív dielektromos állandó hányados értéke nő a frekvencia csökkenésével és a nyomás nagyságának növekedésével 100 kHz alatt, azonban az LLL sűrűségkorrekció alkalmazása előtt és után a dielektromos görbe gyakorlatilag változatlan függetlenül a tesztcella kialakítástól (10. ábra).

## DIELEKTROMOS JELLEMZŐK LEÍRÁSA ARGAND GÖRBÉVEL

Megállapítottam, hogy a kukorica és szója minták Argand ábrájuk képe szerint 3 fő csoportba sorolhatók attól függően, hogy a minta nedvességtartalmára mely vezetési hatás volt a jellemző. A 14 % nedvességtartalom alatti mintáknál csak a Maxwell-Wagner relaxációra jellemző körív jelenik meg. A nedvességtartalom növekedésével a görbén egyre jobban kirajzolódik az elektród polarizációt jelző egyenes, majd a nedves 20 % feletti mintákon az elektród polarizáció dominálja a görbét.

## A TERHELÉS HATÁSA AZ ARGAND ÁBRÁKON

Megállapítottam, hogy az Argand görbék a terhelés hatására a tesztcellára jellemző módon változtak. A jelleggörbék alakja nem, de a Maxwell-Wagner relaxáció köríve és az elektród polarizáció egyenese többszörösére nőtt. A szigetetlen elektródú tesztcelláknál a nyomás hatására az elektród polarizáció dominánssá válik a száraz mintáknál is (11. ábra). A Maxwell-Wagner relaxációt jellemző húr hossz és a nyomás függvénykapcsolata az (1) egyenlettel írható le:



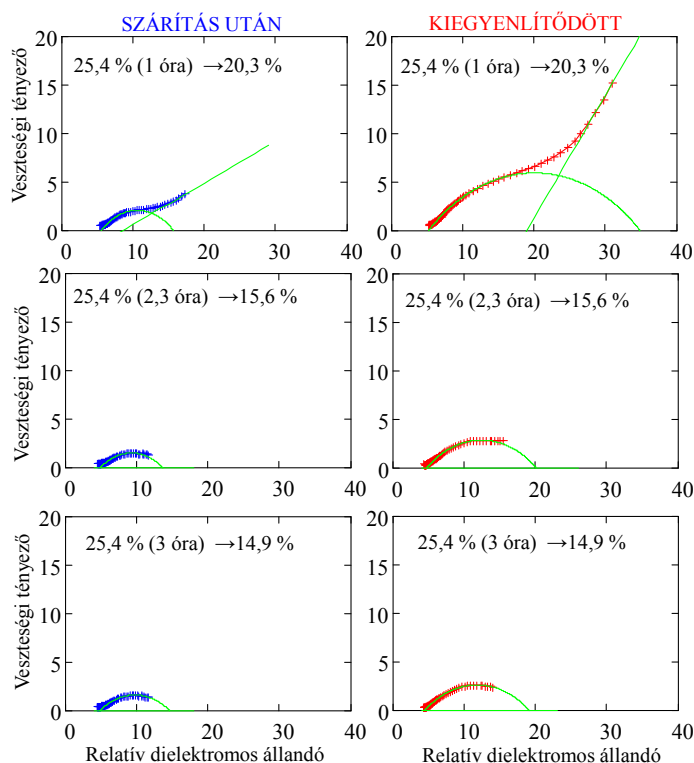
11. ábra A terhelés hatása az Argand görbékre

$$\text{Húrhossz} = 1,114 \cdot \text{Nyomás} + 12,633 \text{ és a determinációs együttható } 0,954$$

(1)

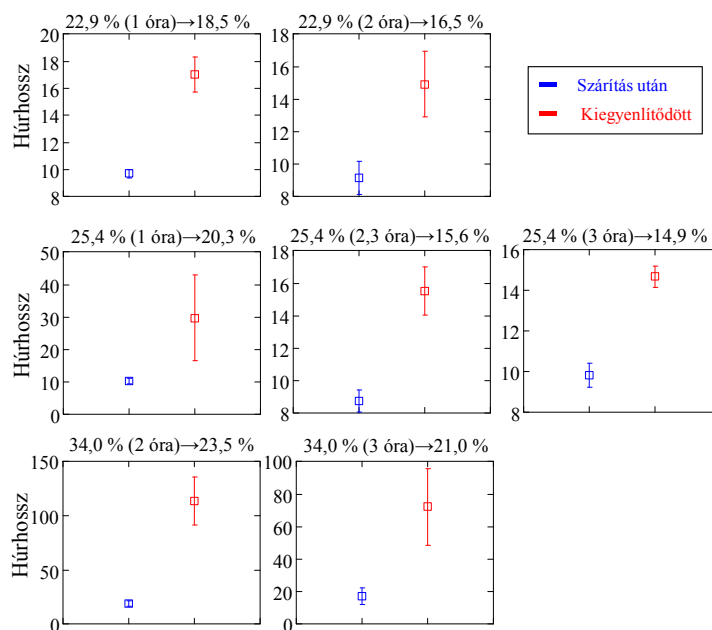
## GABONASZEMEKEN BELÜLI EGYENLŐTLEN NEDVESSÉGELOSZLÁS

Megállapítottam, hogy a minták szárítás utáni és már kiegyenlítődtött állapota között szignifikáns különbség van. Célom egy olyan módszer kidolgozása volt, melynek segítségével szétválaszthatóak az inhomogén nedvességek eloszlású és a már kiegyenlítődtött kukorica minták. A 12. ábrán látható, hogy a nedvességtartalomra jellemző Argand görbe alakja nem változott, de nagysága közel kétszeresére nőtt. Az argand görbék hasonlóan viselkedtek a 22,9 % és a 34,0 % nedvességű kukorica minták esetén is.



12. ábra Egy 25,4 % nedvességtartalmú kukorica minta Argand görbéi, zöld színnel illesztett körív és egyenes

A dielektromos görbéken 100 MHz alatt megfigyelhető vezetési hatások közül az elektródpolarizáció nincs, vagy csak kis mértékben van jelen a száraz minták esetén. A Maxwell-Wagner relaxáció azonban száraz és nedves minta esetén egyaránt jelentkezik. Az előzőekből arra a következtetésre jutottam, hogy a Maxwell-Wagner relaxációt jellemző, illesztett körívből meghatározott paraméterekkel (a húrhossz, a körív központi szöge és a karakterisztikus frekvencia) kimutatható szignifikáns különbség a szárítás utáni és a kiegyenlítődtött kukorica minták dielektromos jellemzői között. Ábrázolva a 22,9 %, a 25,4 % és a

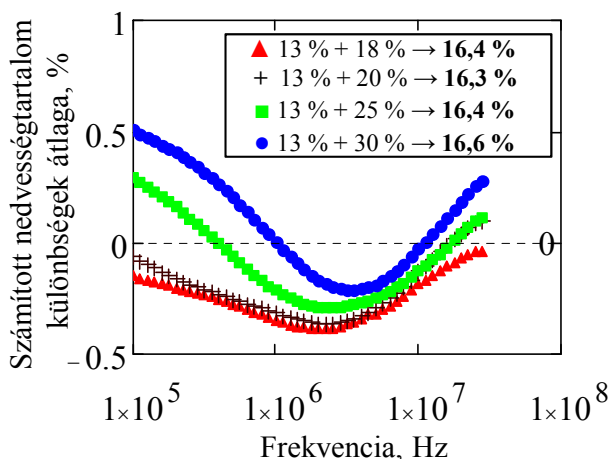


13. ábra A húrhossz átlaga (3 ismétlés) és 95 %-os konfidencia intervalluma különböző nedvességtartalmú kukorica minta és szárítási idő esetén.

34,0 % nedvességtartalmú kukorica minták illesztett körívből meghatározott paramétereinek 3 ismétlésből származó átlagát és 95 %-os konfidencia intervallumát megállapítottam, hogy egyedül a húr hossz (13. ábra) esetén található szignifikáns különbség a szárítás utáni és a már kiegyenlített minta között, függetlenül a nedvességtartalomtól és a szárítási időtől.

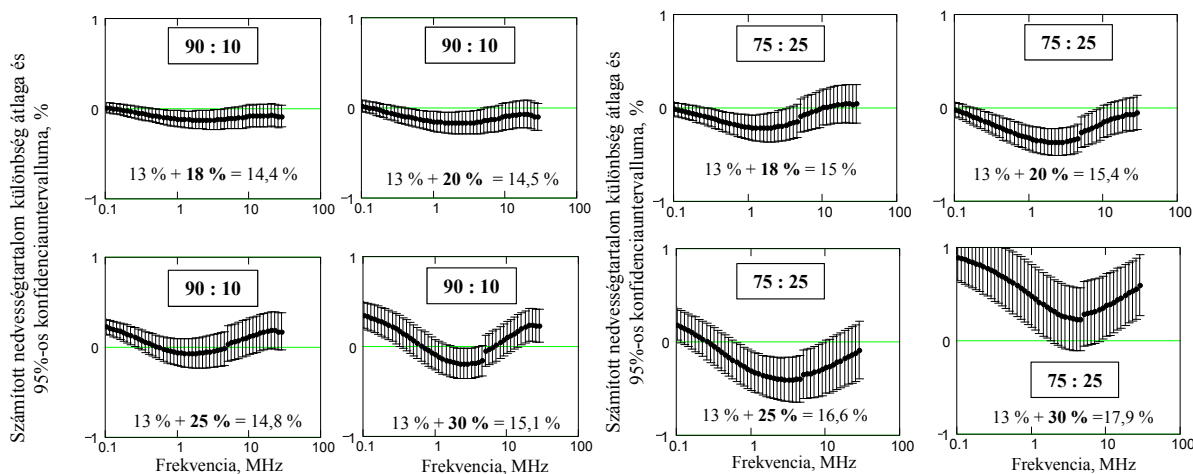
### Száraz-nedves kukorica keverékek vizsgálata

Munkámban különböző tömegarányú keverékek számított nedvességtartalom különbségét határoztam meg a frekvencia függvényében. Megállapítottam, hogy a frissen összekevert és a már kiegyenlített minta számított nedvességtartalma szignifikánsan eltér. A 14. ábrán a relatív dielektromos állandóból (hőmérséklet és sűrűségkorrekció után) számított nedvességtartalom különbségek láthatók a frekvencia függvényében, amikor a keverési arányt egy adott  $\approx 16,5$  % célnedvességre elérésére állítottam be.



14. ábra Adott nedvességtartalomra beállított keverékek számított nedvességtartalom különbsége (kiegyenlített mínusz kiegyenlítetlen).

A görbéken megfigyelhető, hogy az eltérés nagyságát és előjelét a mérőfrekvencia és az eredeti minták közötti nedvességtartalom különbség határozza meg. Hasonló tendenciákat tapasztaltam amikor a keverékeket különböző tömegarány szerint állítam elő (15. ábra).



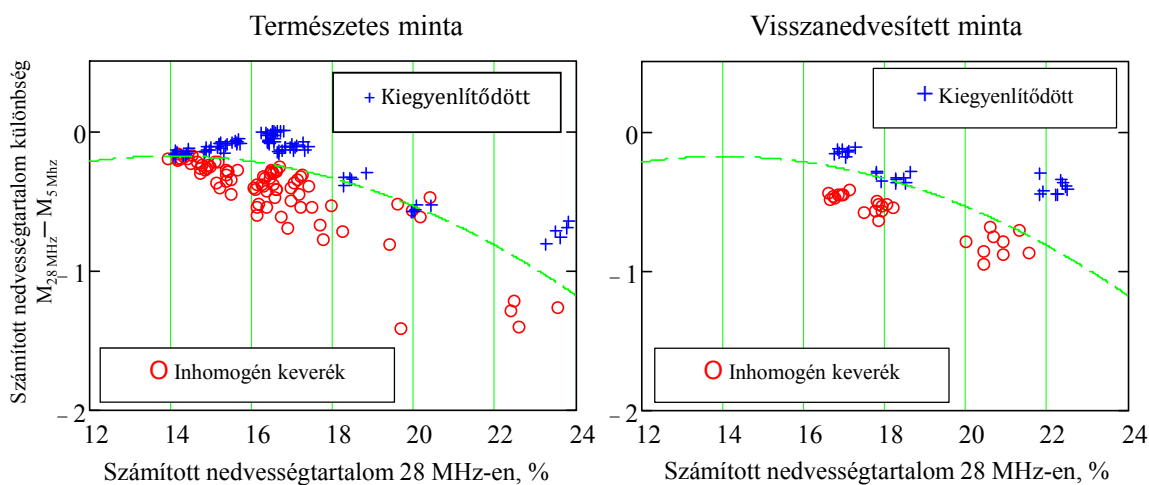
15. ábra A 90:10 és 75:25 arányú száraz-nedves kukorica keverékek számított nedvességtartalom különbség átlaga (kiegyenlített mínusz kiegyenlítetlen) és 95 %-os konfidencia intervalluma

Az 1 MHz - 10 MHz közötti frekvenciatartományban kisebb a számított nedvességtartalom különbség, mint az 1 MHz alatti és 10 MHz feletti frekvenciákon. Megállapítottam, hogy függetlenül a keverési aránytól a számított nedvességtartalom különbség átlag konfidencia intervalluma növekvő tendenciát mutatott a nedves alkotórész nedvességtartalmának növekedésével. A különbségek statisztikailag szignifikánsnak mutatkoztak (a konfidencia intervallumok nem tartalmazzák a nullát) a frekvenciatartomány legnagyobb részében, azokra a gabonákra, amelyek 18 % és 20 %-os kukoricát tartalmaztak, de ugyanez nem volt igaz a 25 % és 30 %-os nedves kukoricával készült keverékekre. Módszert dolgoztam ki a kiegyenlítettlen és a már kiegyenlítődött minták szétválasztására. A minták elkülönítésére végzett diszkriminancia analízis eredménye a következő másodfokú függvény (2):

$$M_{28\text{MHz}} - M_{5\text{MHz}} = -0,01 \cdot (M_{28\text{MHz}} - 14)^2 - 0,18 \quad (2)$$

ahol  $M_{5\text{MHz}}$  a számított nedvességtartalom 5 MHz-en és  $M_{28\text{MHz}}$  a számított nedvességtartalom 28 MHz-en. A minta kiegyenlítődött ha:  $M_{28\text{MHz}} - M_{5\text{MHz}} \geq -0,01 \cdot (M_{28\text{MHz}} - 14)^2 - 0,18$

A vizsgálataimban szereplő természetesen nedves és visszanedvesített kukoricából készült keverékeken alkalmazott módszer eredménye 16. ábrán látható:



16. ábra Számított nedvességtartalom különbségek 28 MHz-en és 5 MHz-en inhomogén és homogén nedvesség eloszlású mintákra. A szaggatott vonal a másodfokú határt ábrázolja.

A módszer több mint 92 %-os hatékonysággal azonosította a kevert és kiegyenlítődött mintákat mind a mesterségesen nedvesített mind pedig és a természetesen nedves mintákra.

## ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

### A Landau-Lifshitz, Looyenga sűrűségkorrekció hatékonysága 100 MHz alatt

1. Megmutattam, hogy a Landau-Lifshitz, Looyenga sűrűségkorrekció a különböző betöltési módok által okozott sűrűségkülönbségek hatását
  - a. 100 kHz és 28 MHz közötti frekvencia tartományban tesztcellától függetlenül eredményesen korrigálta 11,2 % - 31,8 % nedvességtartalmú kukorica mintákon,
  - b. 100 kHz alatti frekvenciákon tesztcellától és nedvességtartalomtól függ, hogy milyen mértékben csökkenti a hiba nagyságát.
2. A hengerkondenzátor tesztcellával végzett méréseink alapján megállapítottam, hogy ha a tesztcella középső elektródja rövidebb, mint a külső elektródja, akkor a középső elektród mellett és felett kialakuló különböző mintasűrűség miatt a Landau-Lifshitz, Looyenga sűrűségkorrekció eredményessége jelentősen romlik. A gabona nedvességmérésében a sűrűségkülönbségek okozta hibák kiküszöböléséhez elengedhetetlen és alapvető a minta pontos sűrűségének ismerete a tesztcella elektromosan aktív részében.
3. Bizonyítottam, hogy a terhelés hatására szignifikáns különbség jött létre a dielektromos jellemzőkben 100 Hz-28 MHz közötti frekvencia tartományban. Megmutattam, hogy a dielektromos jellemzők megváltozásának oka nem a nyomás hatására létrejött sűrűségkülönbség, hanem a mintában erőteljesebbé vált vezetési hatások. Az ezen hatások által a dielektromos gabona nedvességmérésben okozott hibák kiküszöbölésére a Landau-Lifshitz, Looyenga sűrűségkorrekció nem alkalmas.

### Dielektromos jellemzők Argand görbéje

4. Megállapítottam, hogy a gabonák Argand görbéi tesztcellától függetlenül leírhatók a Maxwell-Wagner relaxációt jellemző körív és az elektród polarizációt jellemző egyenes kombinációjával 100 kHz - 28 MHz közötti frekvencia tartományban az alábbiak szerint:
  - a. 14 %-os nedvességtartalom alatt kukorica és szója minta esetén csak körívvel,
  - b. kukorica esetén 14 % - 35,2 %, szója esetén 14 % - 22,9 % nedvességtartalom között egy körívvel és egy egyenessel.

### A nyomás hatása

5. Megállapítottam, hogy terhelés hatására gabona fajtól, tesztcellától és nedvességtartalomtól függetlenül a Maxwell-Wagner relaxációra és az elektród polarizációra jellemző frekvencia tartományok eltolódnak. A nyomás és a minta nedvességtartalmának növekedésével az elektród polarizáció dominánsá válik a dielektromos görbéken.

6. Megállapítottam, hogy tesztcellától függetlenül, a nyomás hatására a 11,2 % - 36,9 % nedvességtartalmú kukorica minták Argand ábráinak jellemző képe nem változik, de az illesztett kör átmérője és az illesztett egyenes szakasz hossza a terhelés nagyságának növekedésével nő.
7. Módosított hengerkondenzátor tesztcella esetén a nedvességtartalomtól független, lineáris összefüggést találtam a 14,3 % - 20,4 % nedvességtartalom közötti kukorica minták Argand görbéire illesztett körívből meghatározott húr hossz és a nyomás között. A köztük lévő függvénykapcsolat:  $Húr hossz = 1,114 \cdot Nyomás + 12,633$  a determinációs együttható 0,954.

#### **Szemeken belüli egyenlőtlen nedvesség**

8. Bebizonyítottam, hogy a szárítás hatására a gabonaszemekben létrejövő egyenlőtlen nedvességeloszlás szignifikáns a különbséget okoz az Argand ábrán a Maxwell-Wagner relaxációra jellemző húr hossz értékében, ez alapja lehet egy konkrét kiegyenlítetlen/kiegyenlített szétválasztási küszöb meghatározásának.

#### **Száraz-nedves kukorica keverékek**

9. A száraz-nedves kukorica keverékek kiegyenlítődés utáni és kiegyenlítődés előtti számított nedvességtartalom különbsége függ a keverék nedves komponensének nedvességtartalmától és a mérési frekvenciától.
10. Módszert dolgoztam ki száraz-nedves kukorica keverék inhomogén és kiegyenlített állapotának megkülönböztetésére. Eszerint a száraz-nedves kukorica keverék 5MHz és 28MHz frekvencián mért relatív dielektromos állandójának ismeretében a kiegyenlített keverék megkülönböztethető az inhomogéntól 92%-os hatékonysággal a következő kritériummal:

A minta kiegyenlített ha:

$$M_{28\text{ MHz}} - M_{5\text{ MHz}} \geq -0,01 \cdot (M_{28\text{ MHz}} - 14)^2 - 0,18$$

## JAVASLATOK

A következőket javaslom a kutatómunka folytatására:

- Kukorica és szója mintákkal további mérések elvégzését széles frekvencia tartományban, és ezáltal az Argand görbék illesztett paramétereinek segítségével meghatározni, hogy mely frekvencia tartományokban van a Maxwell-Wagner relaxációnak és elektród polarizációnak jelentősége
- További mérések elvégzését a tesztcella anyagának és alakjának az elektród polarizációra való hatásának feltárására.
- Meghatározni a minta hőmérsékletének hatását az Argand görbék illesztett paramétereire, azért, hogy megalkotható legyen a dielektromos viselkedés teljesebb és pontosabb matematikai modellje a megahertz alatti frekvenciatartományban.
- Meghatározni azt a lehetséges nyomás-tartományt, amely egy online mérési helyzetben előfordulhat, és kísérletet tenni a nyomásnak a dielektromos tulajdonságokra történő hatásának korrigálására ebben a nyomás-tartományban.
- Egy pontosabb diszkriminancia függvény kifejlesztését a száraz-nedves gabona keverékek meghatározására, majd megvizsgálni a módszer alkalmazhatóságát különböző gabona fajokra és tesztcella típusokra.
- További mérések elvégzését javaslom a szárított és kiegyenlített minták Argand görbéiből nyert húr hossz segítségével történő elválasztásának finomításához és módszer alkalmazását kukoricán kívül más gabonákra is.



## AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### Impakt faktoros folyóiratcikk:

- Gillay, B., Funk, D. B. (2006) Effects of moisture distribution on measurement of moisture content of dried corn. *Acta Alimentaria*, 35(2), pp. 171-181.

### Nemzetközi folyóiratban közölt folyóirat cikk:

- Gillay B., Funk D. B. (2005) Effects of Non-uniform Kernel Moisture Content on Moisture Measurement of Corn *Progress in Agricultural Engineering Sciences*, 1(1) pp. 77-93.

### Nemzetközi folyóiratban közölt folyóirat cikk:

- Gillay B., (2005) Szemestermények nedvességtartalmának meghatározása-*Agro Napló* IX. évf. 2005/6-7 pp.

### Nemzetközi konferencia (teljes):

- Gillay B., Fekete A. (2001) Sensing corn moisture content at different bulk densities– In proceedings *ASAE Annual International Meeting*, Sacramento, (paper number: 013101)
- Gillay B., Funk D. B. (2002) Efficacy of the Landau-Lifshitz, Looyenga mixture equation for density-correcting dielectric measurements of yellow-dent corn subjected to vibration and pressure – In proceedings *ASAE/CIGR Annual International Meeting*, Chicago (paper number: 0238207, lecture)
- Gillay B., Funk B. D. (2002) On-line RF grain moisture measurement – In proceedings of *ICC Conference*, Budapest. (P47)
- Gillay B., Funk D. B. (2002) Temperature effects in corn moisture measurement– In proceedings of *EurAgEng Conference*, Budapest [CD - 02-PH-074]
- Gillay B., Funk D. B. (2003) Mathematical modeling of the low-frequency range changes in dielectric constant measurements due to settling and pressure – In proceedings *ASAE Annual International Meeting*, Las Vegas Paper number: 033135.
- Funk D. B., Gillay B., Gillay Z. (2011) Maxwell-Wagner Relaxations in Grain Dielectric Measurements-Microscopic or Macroscopic Effects – *ISEMA*, Kansas City, USA, pp. 100-109.

### **Magyar nyelvű konferencia (teljes):**

- Gillay B., Funk D. B. (2003) Inhomogén nedvességeloszlás hatása a dielektromos nedvességmérésre – *MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás*. Gödöllő, SZIE Gépészmérnöki Kar - FVM Műszaki Intézet, Nr. 27
- Gillay B., Funk D. B. (2002) Vibráció és nyomás hatása kukoricaminták dielektromos jellemzőire – *MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás*. Gödöllő, SZIE Gépészmérnöki Kar - FVM Műszaki Intézet, Nr. 26(2) pp. 120-124.
- Gillay B. (2001) Nedvességtartalom mérésének laboratóriumi modellezése – *MTA AMB Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás*. Gödöllő, SZIE Gépészmérnöki Kar - FVM Műszaki Intézet, Nr. 25(1) pp. 147-151.

### **Hivatkozások:**

- B. Gillay, D. Funk (2003) Mathematical modeling of the low-frequency range changes in dielectric constant measurements due to settling and pressure – In proceedings ASAE Annual International Meeting, Las Vegas Paper number: 033135.

**Idézik:** Sheu J. I., Sheu E. Y. (2006) Characterization of DNA degradation using direct current conductivity and dynamic dielectric relaxation *AAPS PharmSciTech*. 7(2) pp. 33-44.

- Gillay B., Funk D. B. (2006). Effects of moisture distribution on measurement of moisture content of dried corn. *Acta Alimentaria*, 35(2): 171-181.

**Idézik:** Oliveros-Tascón, C. E., et al. (2010) Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos. *Cenicafé* 61(2): 108-118.



# KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

## **Ezúton is szeretném megköszönni:**

- Dr. Fekete András professzor úrnak, hogy elindított és tanácsaival, iránymutatásaival segített eljutnom idáig,
- Dr. David Funk professzor úrnak a folyamatos több éven át tartó önzetlen segítségét,
- Dr. Felföldi József professzor úrnak a tanácsait és a szakmai segítségét,
- Dr. Vozáry Eszternek a hasznos tanácsait,
- férjemnek, Dr. Gillay Zoltánnak a szakmai segítségét és támogatását,
- a Fizika-Automatika Tanszék minden dolgozójának a támogatást, és
- családomnak és barátaimnak a türelmet és a biztatást.